

DIAMANTE



APPLICAZIONI



TECNOLOGIA



中 南
ZHONG NAN

CNAB XQC
ISO 9001
国际质量体系认证

ZHONGNAN DIAMOND

科技领先 创新未来

ADDRESS: P. O. BOX 101 FANGCHENG, HENAN, CHINA. 473264
TEL: 0086-377-67319306
FAX: 0086-377-67319271, 67319212

<http://www.zhongnan.net>
www.diamond-zh.com
E-mail: zhongnan@zhongnan.net



Contributo per l'ottimizzazione della qualità di lucidatura delle lastre: studio sperimentale e simulazione con una macchina monotesta

di A.R. Barbosa¹, A. Coelho², J.C. Fernandes¹, P.M. Amaral¹, L.G. Rosa¹, J.C. Pereira³

¹ Università di Lisbona, IDMEC & Dipartimento di Ingegneria Meccanica, IST, Lisbona, Portogallo

² FrontWave, Borba, Portogallo

³ Università di Lisbona, Dipartimento di Ingegneria Chimica, IST, Lisbona, Portogallo

ABSTRACT

Questa memoria descrive una recente ricerca riguardante: 1) l'influenza del flusso d'acqua e della pressione nel raggiungimento di una lucidatura perfetta di un limestone portoghese; 2) la validazione sperimentale di un simulatore di lucidatura in fase di sviluppo presso l'IST, Instituto Superior Tecnico (Lisbona). La ricerca è stata effettuata utilizzando delle lastre di una pietra calcarea portoghese, il Moleanos, mentre per la lucidatura sono stati scelti degli utensili con segmenti abrasivi commerciali, tipo Frankfurt, che sono stati applicati nelle ultime tre fasi del processo per raggiungere la massima brillantezza superficiale.

Lo studio è stato condotto con una macchina lucidatrice monotesta da laboratorio in modo che tutte le condizioni di prova fossero adeguatamente monitorate e controllate. La testa lucidante è stata equipaggiata con sei abrasivi del tipo Frankfurt con uguale dimensione della grana (320#, 400# e 5Extra). La qualità superficiale è stata valutata,

dopo ogni fase di lucidatura, mediante un glossmetro. Infine, sono stati identificati i parametri di lavorazione ottimali per ogni fase della lucidatura.

I risultati ottenuti hanno mostrato che esiste una correlazione tra i valori sperimentali di brillantezza (gloss) e i dati di abrasione forniti dal simulatore.

Parole chiave: lucidatura, pressione, flusso d'acqua, pietra ornamentale, gloss, abrasivi tipo Frankfurt, modellazione.

INTRODUZIONE

I processi di finitura superficiale alterano la superficie di un manufatto per ottenere una certa proprietà. Le caratteristiche estetiche sono molto importanti nel momento in cui la pietra è utilizzata come materiale da costruzione od ornamentale per cui, di conseguenza, i processi di finitura superficiale sono considerati essenziali per l'industria di trasformazione lapidea.

A contribution for an optimization of the polishing quality of stone slabs: simulation and experimental study using a single-head polishing machine

by A.R. Barbosa¹, A. Coelho², J.C. Fernandes¹, P.M. Amaral¹, L.G. Rosa¹, J.C. Pereira³

¹ Universidade de Lisboa, IDMEC & Dept. of Mech. Engineering, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

² FrontWave, Borba, Portugal

³ Universidade de Lisboa, Dept. of Chemical Engineering, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

ABSTRACT

This paper describes recent research regarding: 1) the influence of the water flow and the pressure in order to attain the best polishing in portuguese limestones; 2) the experimental validation of a polishing simulator under development at Instituto Superior Tecnico (Lisbon).

The research work was carried out using slabs of calcareous stone Moleanos, from Portugal, and the polishing sequence employed commercial Frankfurt-type abrasive tools applied for the last 3 stages of the process in order to attain maximum surface gloss. The study was conducted with a single-head laboratory-type polishing machine, where all test conditions

are adequately monitored and controlled.

The polishing head contains 6 Frankfurt abrasives of the same grit size (320#, 400# and 5Extra).

The surface quality was assessed, after each polishing stage, by means of a glossmeter. In the end, it was possible to identify the optimum working parameters for each polishing stage. The results obtained also show that indeed a correlation exists between experimental values of gloss and the abrasion data given by the simulator.

Keywords: polishing, pressure, water flow, ornamental stone, gloss, frankfurt abrasives, modelling.

Tra i diversi tipi di finiture superficiali (ad esempio: lucidatura, levigatura, fiammatura, burattatura, spazzolatura, ecc), la lucidatura è forse quella che meglio esalta l'attrattività della pietra. La rugosità (R) e il gloss (G), così come il colore (C), sono proprietà superficiali generalmente utilizzate per valutare il grado di lucidatura di una pietra. La qualità della lucidatura dipende molto dal tipo di abrasivo utilizzato e dalla sequenza di impiego a seconda del materiale lapideo (marmo, calcare, onice, granito, arenaria, altre pietre naturali o pietre artificiali anche ingegnerizzate).

Alcune ricerche apparse recentemente nella letteratura scientifica, dedicate alla valutazione della finitura della superficie di pietre ornamentali, sono elencate nei riferimenti [1-3].

Nell'industria, la lucidatura è un processo di finitura, costituito da più operazioni successive volte a ridurre la rugosità della superficie e aumentare l'intensità della brillantezza. Questa lavorazione sfrutta l'attrito che gli elementi abrasivi generano a contatto con il materiale in modo da ottenere il grado di lucidatura desiderato. Nelle moderne macchine luciatrici, le lastre si muovono lungo un nastro e sono lavorate da più teste lucidanti installate su un ponte (vedi Fig.1).

In genere, le luciatrici per marmo hanno un mandrino di potenza 10-15 CV, mentre il diametro della testa lucidante è di 450 mm e monta sei elementi abrasivi del tipo Frankfurt; per il granito, invece, le macchine sono più potenti (mandrino

di 15-20 CV o più), le teste lucidanti hanno un diametro di 470 millimetri e montano sei abrasivi tangenziali tipo "Fickert". Esistono macchine in grado di lavorare (lucidare) sia lastre di marmo che di granito. Ci sono, infine, anche altri tipi di luciatrici che usano una singola testa.

Una rappresentazione schematica del processo di lucidatura in linea è mostrato in Fig.2. Gli elementi abrasivi installati su ogni testa lucidante, a contatto con la lastra, eseguono la lucidatura secondo parametri operativi ben conso-



Fig.1 Tipica macchina luciatrica multiteste usata nel settore della pietra ornamentale [4]
Typical multiple head polishing machine used by the ornamental stone industry [4]

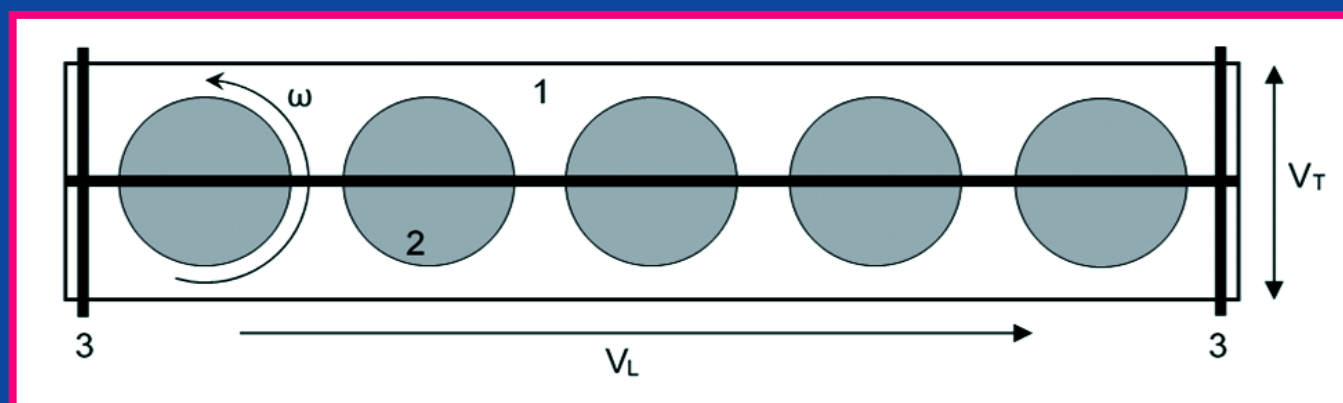


Fig.2 Rappresentazione schematica del processo di lucidatura in linea: 1) nastro trasportatore; 2) testa lucidante; 3) trave a croce
Schematic representation of the polishing process in a polishing line: 1) conveyor belt; 2) polishing head; 3) crosshead beam

INTRODUCTION

Surface finishing processes alter the surface of a manufactured item to achieve a certain property. Aesthetic characteristics are very important when rocks are used as construction or ornamental materials, and therefore surface finishing processes are considered essential by the stone processing industry. Among the different types of surface finishes (such as: polished, honed, flamed, tumbled, brushed, etc.) the polished finish is perhaps the one which best enhances the rock attractiveness. Roughness (R) and gloss (G), as well as colour (C), are surface properties generally used to assess

the rock polishing. The polishing quality depends very much from the type of abrasives used and on the optimal abrasive sequence utilized for a specific type of stone material (marble, limestone, onyx, granite, sandstone, and other natural stones or even engineered artificial stones).

Some recent publications appearing in the open literature and dedicated to studies on surface finish evaluation on ornamental stones are listed in the references [1-3].

In industry, polishing is a finishing process, formed by several successive operations aiming to decrease the roughness of the surface and to increase its gloss intensity.



lidiati: velocità del nastro trasportatore, V_L ; velocità trasversale, V_T ; velocità di rotazione della testa, ω ; flusso d'acqua, Q e pressione di lucidatura della testa, P . Gli abrasivi hanno progressivamente una grana inferiore (tra le teste lucidanti), garantendo una lavorazione graduale lungo il nastro.

Il flusso d'acqua, Q , è impiegato per pulire, lubrificare e raffreddare durante il processo. La pressione effettiva P ,



Fig.3 Esempio di limestone Moleanos usato per pavimentazione
An example of typical use of Moleanos limestone in flooring

applicata dalla testa lucidante, consente di ottenere un contatto stabile e permanente tra l'utensile e la superficie della pietra. Come illustrato in dettaglio in [5], il movimento verticale delle teste lucidanti è effettuato da una coppia di cilindri pneumatici che lavorano in contropressione.

Nelle levigatrici moderne, il sollevamento del mandrino lucidante è controllato da sensori che agiscono in base al profilo della pietra rilevata; il sistema di controllo è in grado di verificare e ottimizzare il movimento della testa, della trave e del nastro per una lucidatura ottimale.

Lo studio descritto nella presente memoria ha due obiettivi: 1) l'ottimizzazione delle condizioni di lavoro, in particolare pressione e flusso d'acqua, al fine di ottenere la migliore lucidatura possibile di un limestone portoghese; 2) validare un simulatore di lucidatura sviluppato presso l'Istituto Superior Tecnico (Lisbona).

Per questo tipo di studio, la scelta di un limestone adeguato è stato fondamentale in quanto le caratteristiche della pietra possono semplificare il confronto tra simulazione ed esperimento: minime differenze mineralogiche, assenza di tonalità (cioè grande omogeneità), assenza di difetti (visibili a occhio nudo), facilità di lavorazione (facilmente lucidabili per essere misurate con il glossmetro).

1. STUDIO SPERIMENTALE

1.1 PIETRA E ABRASIVI UTILIZZATI NELLE PROVE DI LUCIDATURA

Lo studio sperimentale è stato effettuato utilizzando lastre di Moleanos, un limestone portoghese. La Fig.3 mostra un tipico utilizzo per pavimentazione. Come sarà spiegato più avanti, ogni piastrella è stata divisa in aree di riferimento che sono state, poi, utilizzate per realizzare la misurazione del gloss dopo ogni fase di lucidatura.

This technique uses friction movements of abrasive elements over the material to obtain the required polishing degree.

On modern slabs polishing machines, the stone slabs move on a wide belt and are processed by multiple polishing heads installed on the machine's bridge (see Fig.1).

Typically, polishing machines for marble have spindle motors of 10-15 hp and the diameter of the polishing head is 450 mm, installing 6 polishing "Frankfurt" abrasive elements; while for granite, machines are more powerful (spindle motors of 15-20 hp or more) and use 470 mm diameter polishing heads with 6 "Fickert (Tangential)" abrasives.

There are machines that allow to process (polish) slabs of both marble and granite. There are also other types of polishing machines which use one single head.

A schematic representation of the polishing process in a polishing line is shown in Fig.2. The abrasive elements installed at each polishing head, in contact with the stone slab, perform the polishing under well-established operating parameters: conveyor belt speed, V_L ; cross-head or transverse velocity, V_T ; head rotation speed, ω ; water flow, Q ; and pressure of polishing head, P . The abrasives have, progressively, a lower grit (between polishing heads), providing a gradual treatment through the belt.

The water flow, Q , is employed to clean, lubricate and cool the polishing process. The effective pressure P , applied in the polishing head, allows obtaining a permanent and stable contact between the tool and the surface of the stone.

As detailed in [5], the vertical movement of the polishing

heads is performed by a pair of pneumatic cylinders working in counter pressure. In modern polishing machines, the lifting of polish spindle is controlled according to the stone profile perceived by sensors; and in fact, the control system inspects and optimizes the movement of polish head, crossbeam and belt to expert polishing.

The investigation described in the present paper has two objectives: 1) the optimization of the working conditions, namely pressure and water flow, in order to attain the best polishing in portuguese limestones; 2) to validate a polishing simulator developed at Instituto Superior Tecnico (Lisboa). For this type of study, the choice of an adequate limestone is relevant and the following stone characteristics may simplify the comparison between simulation and experiment: - minimum mineralogical differences; - absence of tonalities (i.e. great homogeneity); - absence of defects (seen to the naked eye); - easy to be polished (i.e. getting easily high gloss to be measured by the glossmeter).

1. EXPERIMENTAL

1.1 STONE AND ABRASIVES USED IN POLISHING EXPERIMENTS

The experimental work was carried out using slabs of calcareous stone Moleanos, from Portugal. Fig.3 depicts the typical use in flooring of Moleanos limestone.

As it will explained further on, each tile was divided into referenced areas that were used to attain the gloss readings after each stage of polishing.

Three different Frankfurt abrasives were used throughout



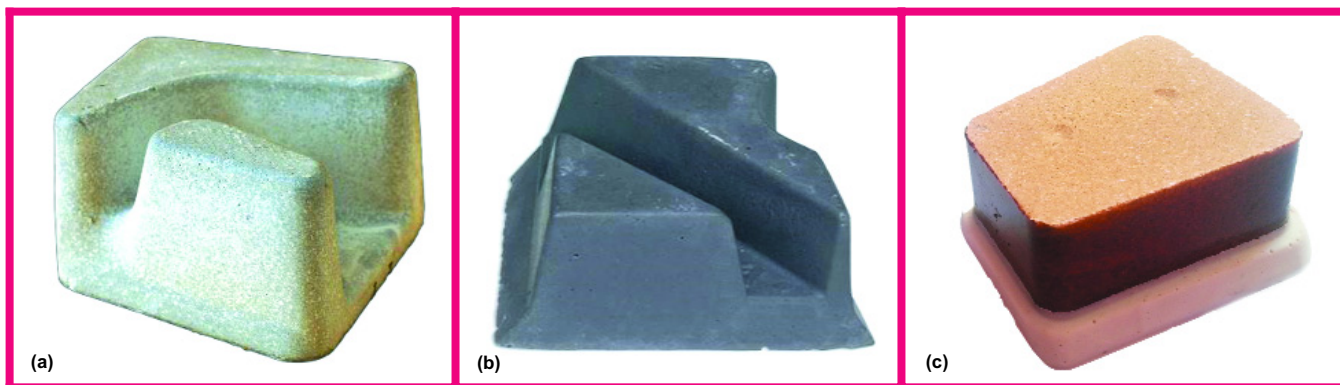


Fig.4 Abrasivi Frankfurt usati nelle prove: (a) 320TX; (b) 400T; (c) 5Extra
Frankfurt abrasives used in this work: (a) 320TX; (b) 400T; (c) 5Extra

Per questo lavoro sono stati scelti tre diversi abrasivi del tipo Frankfurt (vedi Fig.4), montati a gruppi di sei sulla testa lucidante (come schematicamente mostrato in Fig.6).

Questi abrasivi, applicati nelle tre fasi finali di lucidatura, sono stati selezionati per massimizzare la brillantezza, rendendo, così, più semplice misurare e studiare le variazioni della superficie dopo la lavorazione.

Il 320TX è un abrasivo in magnesite contenente particelle di carburo di silicio di grana 320#; il 400T è un abrasivo a legante resinoide contenente particelle di carburo di silicio di grana 400#; infine, il 5Extra è un abrasivo in acido ossalico contenente particelle fini (5 micron) di carburo di silicio impiegato nella fase finale per ottenere una lucidatura a specchio.

1.2 ATTREZZATURE UTILIZZATE PER LE PROVE DI LUCIDATURA E PER LA MISURAZIONE DEL GLOSS

Le prove di lucidatura sono state effettuate con una macchina lucidatrice lineare per laboratorio (vedi Fig.5a) dotata di una sola testa lucidante, affinché le variazioni delle caratteristiche superficiali (come, brillantezza o rugosità) potessero essere correlate in modo semplice con l'azione abrasiva dopo ogni prova di lucidatura.

La macchina è stata dotata di strumenti atti a controllare e monitorare tutte le più importanti variabili di processo: velocità del nastro, velocità trasversale, velocità di rotazione della testa, pressione degli utensili e del flusso d'acqua. Una corretta conoscenza di tutte queste variabili è di fondamentale importanza per studiare e ottimizzare il processo di lucidatura [5].

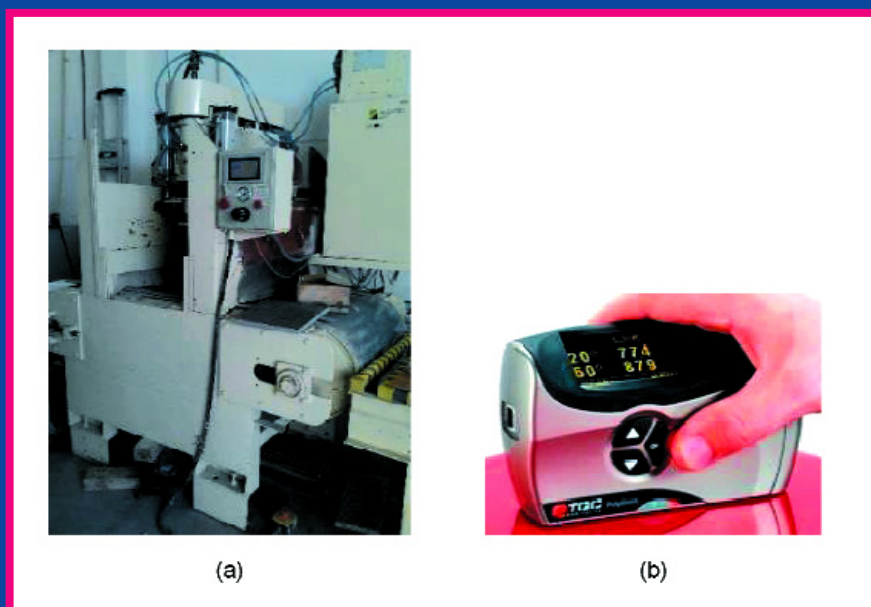


Fig.5 Attrezzature per le prove: (a) macchina lucidatrice da laboratorio; (b) glossmetro
Equipment used in this work: (a) laboratory-type polishing machine; (b) glossmeter

this work (see Fig.4), mounted in groups of six in the polishing head (as schematically shown in Fig.6).

These abrasives, typically applied in the three final polishing stages, were chosen in order to maximize gloss, thus making it simpler to measure and study surface changes after pol-

ishment. 320TX is a magnesite abrasive containing silicon carbide particles of grit size 320#; 400T is a resin bonded abrasive containing silicon carbide particles of grit size 400#; and 5Extra is an oxalic acid abrasive containing fine (5 micrometer) silicon carbide particles used on final polishing step to get mirror-like polishing.

1.2 EQUIPMENT USED FOR POLISHING TESTS AND GLOSS READINGS

The polishing tests were carried out with a laboratory-type linear polishing machine (see Fig. 5.a) equipped with a single polishing head, so changes in surface characteristics (like, gloss or roughness) can be simply correlated with the local abrasive action applied in each polishing experiment.

The machine is instrumented to control and monitor all the most important processing variables: conveyor belt speed,

transverse speed, head rotation speed, tool pressures and water flow. The correct knowledge of all these variables is of crucial importance to study and optimize the polishing process [5].

The surface quality of stone tiles was assessed by measuring



La qualità della superficie delle lastre è stata valutata attraverso una misurazione del gloss dopo ogni fase di lucidatura. Le letture gloss sono state rilevate con un glossmetro TQC PolyGloss [6] che consente misurazioni con angoli di 20°/60°/85°. Le letture si riferiscono a zone diverse delle piastrelle, secondo una griglia pianificata, e i risultati sono stati sottoposti ad analisi statistica.

2. SIMULAZIONE DI LUCIDATURA

Il PAM (Polishing Analysis Modelling) è un simulatore geometrico 2D in grado di riprodurre l'azione macroscopica di un utensile da lucidatura, mentre si muove e ruota sulla superficie piatta della pietra.

Il PAM non è in grado di simulare i complessi meccanismi propri della scienza dei materiali che regolano la lucidatura su scala microscopica, quali la deformazione e la smus-

satura delle asperità all'interfaccia pietra/utensile.

Il PAM, invece, divide le superfici della lastra e dell'utensile in minuscole cellule 2D, d'ora in poi chiamate pixel, e ipotizza che il contatto tra i pixel di entrambe le superfici, d'ora in poi chiamato abrasione, possa essere utilizzato per determinare gli aspetti principali del processo di lucidatura. Come in molte altre tecniche di modellazione, il tempo di lavorazione è diviso in piccoli intervalli, tanto brevi da poter simulare correttamente la rapida azione dell'utensile sulla pietra.

Possono essere svolte delle simulazioni con differenti utensili di lucidatura semplicemente definendo l'intensità dell'abrasione per ciascun pixel dell'utensile, da 0 (nessun contatto) a qualsiasi numero positivo. Ad esempio, la superficie di un utensile potrebbe essere progettata per avere una data distribuzione di diamante e legante nei diversi pixel.

Utensili con forme geometriche relativamente semplici possono essere creati utilizzando le funzioni del PAM.

Utensili più complessi devono, invece, essere progettati utilizzando il CAD o un software d'immagine per poi importarli nel PAM. La Fig.6 mostra tre diversi utensili per lucidatura, ciascuno formato dai 6 abrasivi tipo Frankfurt menzionati in precedenza (320TX, 400T e 5Extra).

Possono essere create diverse sezioni di simulazione, con diver-

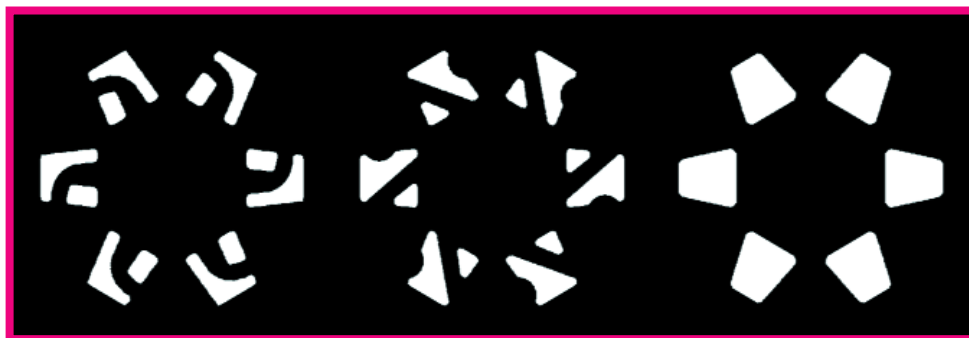


Fig.6 Simulazione di lucidatura con 6 abrasivi Frankfurt: 320TX (sinistra), 400T (centro) e 5Extra (destra)
Simulated polishing tools, formed by six Frankfurt abrasives: 320TX (left), 400T (center) and 5Extra (right)

gloss values after each polishing stage. The gloss readings were made with a glossmeter TQC PolyGloss [6] allowing measurements at angles of 20°/60°/85°.

The readings were taken at different locations of the stone tiles, according to a planned grid, and the results were submitted to statistical analysis.

2. SIMULATION OF THE POLISHING

PAM (Polishing Analysis Modelling) is a 2D geometric simulator aiming to reproduce the macroscopic action of a polishing tool, rotating and moving over a stone surface, both considered flat. PAM is unable to simulate the complex

Materials Science mechanisms governing the polishing at a microscopic scale, involving the deformation and wear of the asperities in the stone/tool interface. PAM instead divides the stone and tool surfaces in tiny 2D cells, from now on called pixels, and assumes that the accumulated contact between the pixels of both surfaces, from now on called abrasion, can be used to determine the main aspects of a polishing process. As in many other modelling techniques, the processing time is divided in tiny time steps, small enough to properly simulate the fast changing pattern of the tool over the stone.

Different polishing tools can be simulated simply defining the abrasion intensity for each tool pixel, from 0 (no contact) to any positive number.

For example, a tool surface might be designed to have a given distribution of diamond and binder pixels. Tools with relatively simple geometric shapes can be created using PAM own functions.

More complex tools can be designed using CAD or image software and then imported into PAM as images.

Fig.6 shows 3 different polishing tools, each formed by

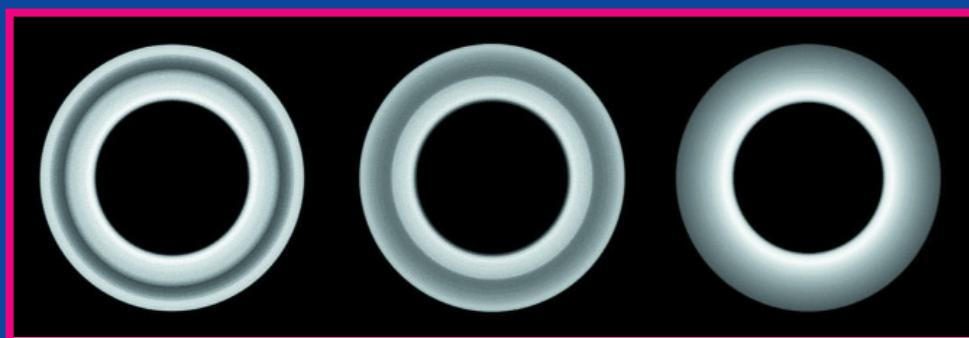


Fig.7 Simulazione di lucidatura con gli stessi utensili abrasivi di Fig.6: 320TX (sinistra), 400T (centro) e 5Extra (destra), dopo una rotazione a 10 rps e con un intervallo di tempo di 0,001 secondi
Simulated polishing by the same tools as in Fig. 6, with abrasives: 320TX (left), 400T (center) and 5Extra (right), after one rotation at 10 rps, with a time step of 0.001 s



si utensili, diversa velocità di rotazione e traslazione e, perfino, diversi intervalli temporali. La Fig.7 mostra i risultati della lucidatura ottenuti con gli stessi utensili della Fig.6, dopo una rotazione a 10 rps (senza traslazione), con un intervallo temporale di 0,001 s, corrispondente ad un passo angolare di 3,6 gradi tra ogni impressione.

Il PAM fornisce un semplice (solo 5 istruzioni) ma potente strumento per definire il percorso disegnato dall'utensile sulla pietra, compresi anelli su più livelli o sequenze casuali di segmenti lineari e circonferenze, grazie ad una vasta gamma di opzioni operative. Queste funzioni consentono agli utenti di studiare un numero virtualmente

illimitato di traiettorie, coprendo certamente la piccola nicchia di interesse per l'industria lapidea. La Fig.8 mostra i risultati di lucidatura ottenuti con un semplice disco secondo due diverse traiettorie: un percorso di lucidatura per lo più lineare e uno più complesso, principalmente circolare. I risultati della simulazione per ciascun pixel della pietra sono memorizzati in un file che descrive le cinque proprietà che finora abbiamo identificato come utili per definire la qualità di un processo di lucidatura: 1) l'abrasione totale; 2-3) lo spostamento in pixel (in direzione orizzontale e verticale) tra ciascun pixel lucidato e il pixel centrale dell'utensile; 4-5) la distanza media e la deviazione

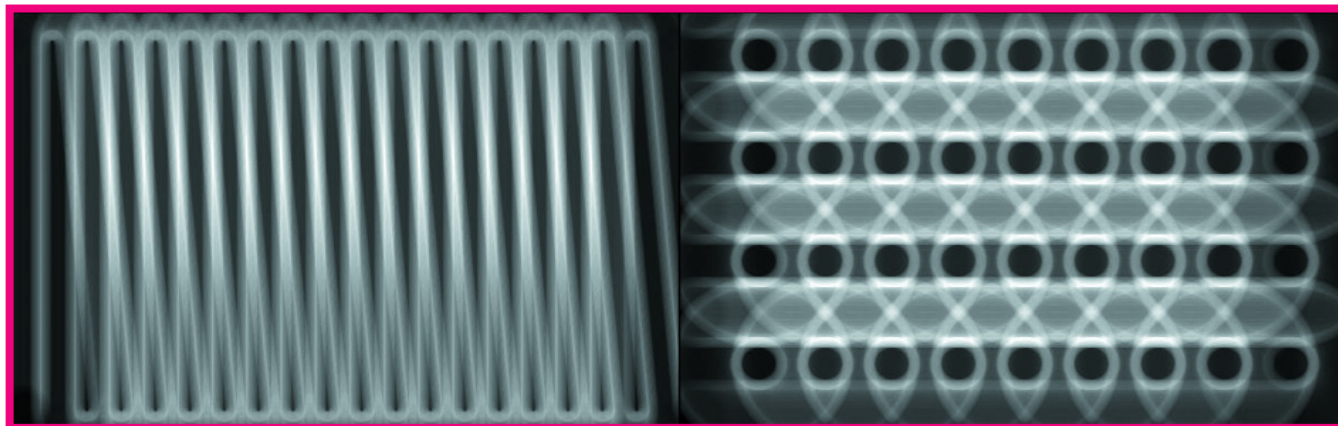


Fig.8 Lucidatura simulata con un semplice disco e due traiettorie differenti. A sinistra una traiettoria lineare, con movimento dall'alto al basso, con bordi arrotondati. A destra una traiettoria più complessa su 4 righe formata da movimenti circolari che simulano una lucidatura manuale. *Simulated polishing by a simple circular disk, for two different tool trajectories. Left: a mostly linear, up-and-down trajectory, circular on the borders. Right: a complex, four-row trajectory, mostly formed by circular movements, simulating multi-level circular hand polishing*

six Frankfurt abrasives, mentioned earlier: 320TX, 400T and 5Extra. Different simulation sections can be created, with different tools, different rotation and translation tool speeds, even different time steps. Fig.7 shows the polishing results produced by the same tools of Fig.6, after one rotation at 10 rps (no translation), with a time step of 0.001 s, corresponding to an angular step of 3.6 degrees between each impression.

PAM provides a very simple (only five instructions!) but powerful language to define the path followed by the tool over the stone, including multilevel loops and arbitrary sequences of linear segments and circumference arcs, powered by a wide range of parameter options. This functionality allows users to study a virtually unlimited number of trajectories, certainly covering the small subset of interest for the industry. Fig.8 shows the polishing results produced with a simple tool disk for two different polishing trajectories: a mostly linear polishing path and a more complex, mostly circular, path.

The accumulated simulation results for each stone pixel are stored in files describing the five properties that so far we identified as useful to assert the

quality of a polishing process: 1) the total abrasion; 2-3) the shift in pixels (in horizontal and vertical directions) between each polished pixel and the tool central pixel; 4-5) the mean distance and standard deviation between the polished pixel and the tool central pixel.

The data thus acquired throughout the entire simulation (or just during a single section) can then be reported in image

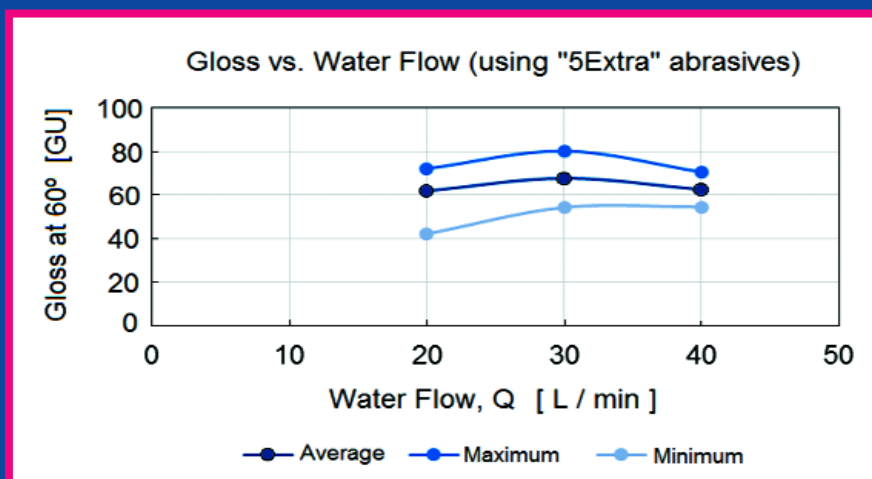


Fig.9 Misurazione del gloss (media, valore minimo e massimo) dopo le prove con abrasivi "5Extra" con differenti flussi d'acqua: 20, 30 e 40 litri al minuto. *Results of gloss (average, maximum, and minimum values) after the tests with "5Extra" abrasives at different water flow: 20, 30 and 40 litre per minute*



standard tra il pixel lucidato e il pixel centrale dell'utensile. I dati acquisiti durante l'intera simulazione (o solo durante una singola sezione) possono, poi, essere riportati in immagini e formati statistici, con schemi di diversi colori, differenti grafici, istogrammi, ecc.

Per ottenere una superficie perfettamente lucidata non è sufficiente applicare alti livelli di abrasione sull'intera pietra: l'abrasione dovrebbe essere il più possibile omogenea e casuale e in modo da evitare graffi e altri difetti visivi sulla superficie. Per ragioni economiche, le traiettorie di lucidatura dovrebbero essere brevi e rapide da lavoro

e la superficie della pietra non deve essere inutilmente super-lucidata.

L'obiettivo principale che si vuole raggiungere con il PAM è quello di creare un laboratorio di modellazione che permetta di ottimizzare: 1) le traiettorie di lucidatura generate automaticamente dagli algoritmi che controllano le macchine da taglio (robotiche e CNC) in un contesto industriale; 2) la forma e la struttura di nuovi utensili per lucidatura, che possono essere simulati per eliminare i cattivi progetti, prima che siano creati i prototipi e si proceda con le prove sperimentali.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 INFLUENZA DEL FLUSSO D'ACQUA

La valutazione dell'influenza del flusso d'acqua, Q (litri per minuto), è stata fatta variando Q (litri per minuto) e mantenendo costante la pressione ($P = 3$ bar). La Fig.9 riassume i risultati ottenuti dopo aver condotto una serie di prove di lucidatura.

3.2 INFLUENZA DELLA PRESSIONE

Le prove di lucidatura sono state condotte con una pressione $P = 1$ bar, 2 bar, 3 bar o 4 bar, mantenendo costante il flusso d'acqua ($Q = 30$ l/min).

La Fig.10 mostra i valori medi di brillantezza trovati in posizioni diverse (lungo la piastrella) dopo prove con abrasivi "5Extra". Dalla Fig.10 è evidente che vi sia una lucidatura migliore (ossia valori medi del gloss supe-

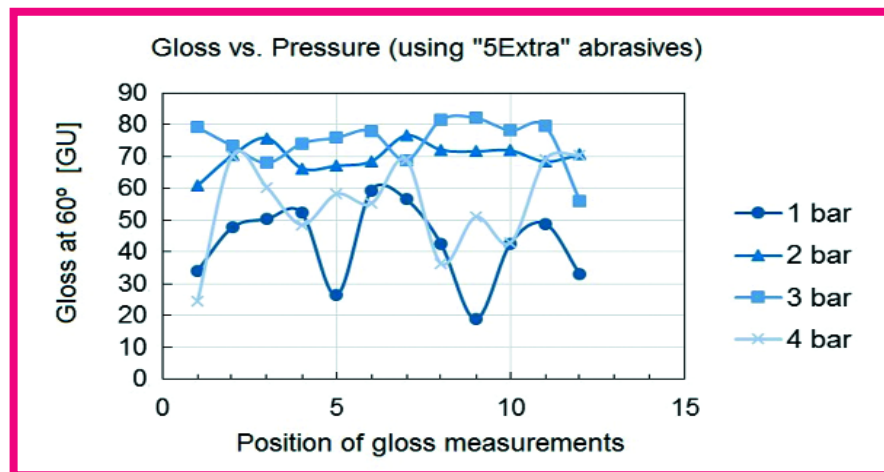


Fig.10 Risultati medi del gloss dopo le prove con abrasivi "5Extra" a pressioni differenti: 1 bar, 2 bar, 3 bar e 4 bar / Results of average gloss after the tests with "5Extra" abrasives at different pressure: 1 bar, 2 bar, 3 bar and 4 bar

and statistical formats, including different colour schemes, different statistical treatments, histograms, etc.

To obtain a properly polished stone surface, is not enough to achieve high levels of abrasion throughout the stone surface: abrasion should be as homogeneous and randomly applied as possible to avoid scratches and other visual defects on the surface. For economic reasons, polishing trajectories should be as short and quick to process as possible, and stone surface should not be unnecessarily over-polished. The main goal we want to achieve with PAM is to create a modelling laboratory that help us optimize: 1) the polishing trajectories automatically generated by algorithm-controlled cutting machines (robot-based and CNC-based) in industrial contexts; 2) the shape and texture of new polishing tools, that can be simulated first to eliminate bad designs, before real tool prototypes are made and experimental tests begin.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 INFLUENCE OF WATER FLOW

The assessment of the influence of water flow, Q (litre per minute), was made by varying Q (litre per minute), while keeping the pressure constant ($P = 3$ bar).

Fig.9 summarizes the results obtained after conducting this series of polishing tests.

3.2 INFLUENCE OF PRESSURE

Polishing tests were conducted at pressure $P = 1$ bar, 2 bar,

3 bar or 4 bar, but keeping the water flow constant ($Q = 30$ l/min). Fig.10 shows the average values of final gloss found at different positions (along the stone tile) after tests with "5Extra" abrasives.

It is noticeable from Fig.10 that there is a better polish (i.e. higher average-values of gloss) when $P = 2$ bar or $P = 3$ bar, compared to the results for $P = 1$ bar or $P = 4$ bar.

The high variation of gloss across the stone tile found for $P = 1$ bar is attributed to vibrations occurring at the Frankfurt abrasives installed at the polishing head.

The vibrations appear due to the low pressure contact between tool and stone. On the contrary, the variation of gloss for $P = 4$ bar is attributed to a high pressure contact. In this case, average values of gloss are higher compared to those for $P = 1$ bar; but the variation between minimum and maximum values for $P = 4$ bar is of the same order of magnitude as for $P = 1$ bar. The reason is that for $P = 4$ bar the contact areas between the Frankfurt abrasives and the stone tile are probably overloaded and this originates a less homogeneous polishment and premature deterioration of the abrasives. Table 1 summarizes the results of the total average value of gloss (for the whole area under study), as well as it presents the values concerning the standard deviation of the gloss measurements.

Based on the results of the experiments described here before, we may consider that pressures in the range of 2-3 bar are suitable for a high gloss polishing. Note that $P = 2$ bar causes a slightly lower (circa 6%) final value of gloss



riori) quando $P = 2$ bar o $P = 3$ bar, rispetto ai risultati con $P = 1$ bar o $P = 4$ bar. L'elevata variabilità del gloss lungo la piastrina registrata con $P = 1$ bar è stata attribuita alle vibrazioni che si verificano con gli abrasivi Frankfurt installati sulla testa lucidante. Le vibrazioni si generano a causa della bassa pressione di contatto tra utensile e pietra.

Al contrario, la variazione del gloss con $P = 4$ bar è attribuita ad un contatto con pressione eccessiva. In questo caso, i valori medi del gloss sono superiori rispetto a quelli con $P = 1$ bar, ma la variazione tra il valore minimo e massimo con $P = 4$ bar è dello stesso ordine di grandezza di $P = 1$ bar. Il motivo è che con $P = 4$ bar le zone di contatto tra gli abrasivi Frankfurt e la piastrina, probabilmente, sono sovraccaricate e questo origina una lucidatura meno omogenea e un prematuro deterioramento degli abrasivi. La Tabella 1 riassume i risultati con il valore medio totale del gloss (per l'intera area in esame), nonché presenta i valori relativi alla deviazione standard delle misurazioni.

Sulla base dei risultati degli esperimenti descritti in precedenza, possiamo considerare che le pressioni nell'intervallo 2-3 bar sono adatte per una lucidatura a specchio. Si noti che $P = 2$ bar provoca un valore finale del gloss di

circa il 6% più basso (70,0 GU) rispetto a $P = 3$ bar (74,6 GU), ma la deviazione dei valori di brillantezza è inferiore di quella a $P = 2$ bar, cioè la brillantezza è distribuita più omogeneamente lungo la piastrina.

Pertanto, abbiamo considerato che le migliori condizioni per lucidare il materiale lapideo in esame sono $P = 2$ bar e $Q = 30$ litri/minuto.

3.3 RISULTATI PER LA VALIDAZIONE DEL SIMULATORE

La Fig.11 mostra il PAM durante la simulazione dell'abrasione prodotta da una testa lucidante dotata di sei abrasivi 400T in rotazione, suggerendo che l'abrasione è maggiore nella zona interna, diminuisce nel mezzo, per poi aumentare leggermente nella zona esterna. Un confronto tra l'abrasione misurata lungo l'area radiale indicata e gli equivalenti valori sperimentali del gloss è mostrato in Fig.12. Sebbene la variazione del gloss sperimentale sia molto più piccola di quella rilevata con l'abrasione simulata (il gloss tende ad un asintoto mentre l'abrasione aumenta linearmente), si osserva la stessa tendenza per entrambi: una diminuzione nell'area centrale che può essere spiegata facilmente considerando la geometria dell'abrasivo 400T utilizzato per questo esperimento (vedi Fig.13).

Tab.1 Risultati del gloss (media totale, deviazione standard e % deviazione standard) dopo prove con abrasivi "5Extra" a pressioni differenti
Results of gloss (total average value, standard deviation, and % of standard deviation) after the tests with "5Extra" abrasives at different pressures

	Pressure in the polishing head			
	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar
Gloss at 60°, average [GU]	42.7	70.0	74.6	54.6
Standard deviation [GU]	12.4	4.3	7.4	14.7
% of standard deviation	29%	6%	10%	27%

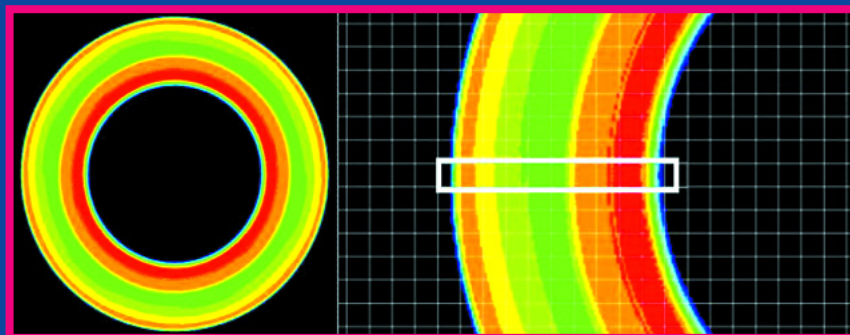


Fig.11 Abrasione simulata PAM per una testa lucidante con sei abrasivi 400T in rotazione che mostra l'area di misurazione. Colori dello schema: dal blu (bassa abrasione) al rosso (alta abrasione)
Abrasion simulated with PAM for a polishing head with six 400T abrasives that is rotating only, showing the radial measuring region. Colour scheme: from blue (low abrasion) to red (high abrasion)

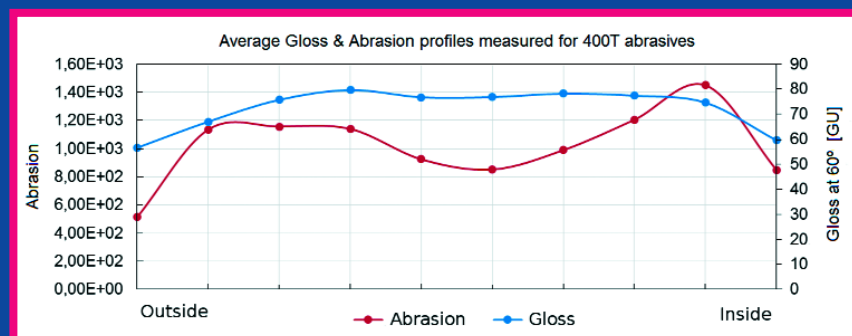


Fig.12 Confronto tra abrasione simulata e gloss sperimentale per una testa lucidante con sei abrasivi 400T in rotazione / Comparison between simulated abrasion and experimental gloss for a polishing head with six 400T abrasives that is rotating only

(70.0 GU) compared to $P = 3$ bar (74.6 GU) but the deviation in gloss values is lower in $P = 2$ bar i.e. the gloss is more homogeneously distributed along the stone tile.

Therefore, we have considered that the best conditions for polishing the stone material under consideration are $P = 2$ bar and $Q = 30$ liter/minute.

3.3 SOME RESULTS SHOWING THE VALIDATION OF THE SIMULATOR

Fig.11 shows the PAM simulated abrasion produced by a polishing head equipped with six 400T abrasives that is rotating only, suggesting that abrasion is higher in the inner region, decreases in the middle and increases slightly in the outer region. A comparison between abrasion measured along the indicated radial region and equivalent gloss experimental values is shown in Fig.12.

Although changes in experimental gloss are much smaller than in simulated abrasion (because gloss tends to an asymptote and abrasion increases linearly), the same trend can be observed in both: a decrease in the middle region that is easily explained considering the geom-



Misurando la lunghezza effettiva dell'abrasione lungo la direzione radiale, ogni 10 mm, dall'esterno all'interno, il valore aumenta in principio, poi diminuisce fino alla zona centrale, per aumentare nuovamente fino alla fine. Sebbene questa lunghezza tangenziale dell'abrasione non possa essere confrontata direttamente con l'abrasione simulata dall'interno all'esterno (il perimetro è più piccolo nella parte interna che nell'area esterna, per cui la lunghezza tangenziale è più efficace nella zona interna), si osserva chiaramente la stessa tendenza rilevata in precedenza con i risultati sperimentali e simulati. Di conseguenza la simulazione PAM (come mostrato in Fig.7) sembra esse-

re efficace nella predizione del comportamento di lucidatura di nuovi utensili. Un confronto tra l'abrasione e la brillantezza per una sequenza di lucidatura completa, con i tre tipi di abrasivi (320TX, 400T e 5Extra) è mostrato in Fig.14. È chiaro che vi è una buona correlazione tra brillantezza sperimentale e abrasione simulata anche se, come accennato prima, il gloss tende ad un asintoto mentre l'abrasione aumenta linearmente. Questo spiega il perché delle zone con valori stabili osservate nelle misurazioni sperimentali di brillantezza mentre l'abrasione accumulata sembra sempre aumentare o diminuire in modo lineare. Il risultato finale per la superficie lucidata, come

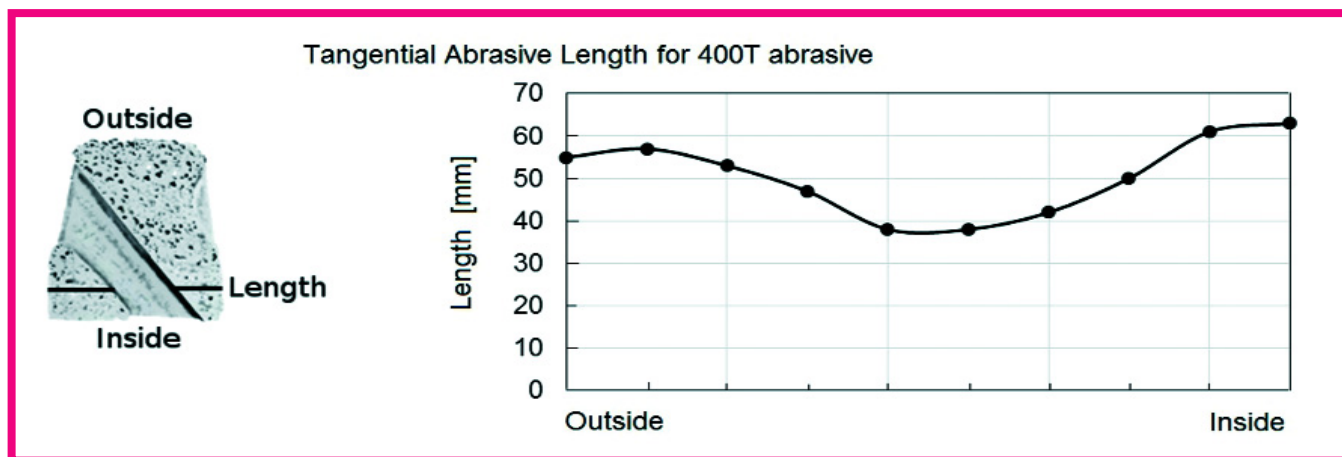


Fig.13 Lunghezza di abrasione con abrasivo 400T, misurata dall'esterno all'interno, con un punto di minimo nell'area centrale
Abrasive length for 400T abrasive, measured from outside to inside, in the tangential direction, showing a minimum in the central region

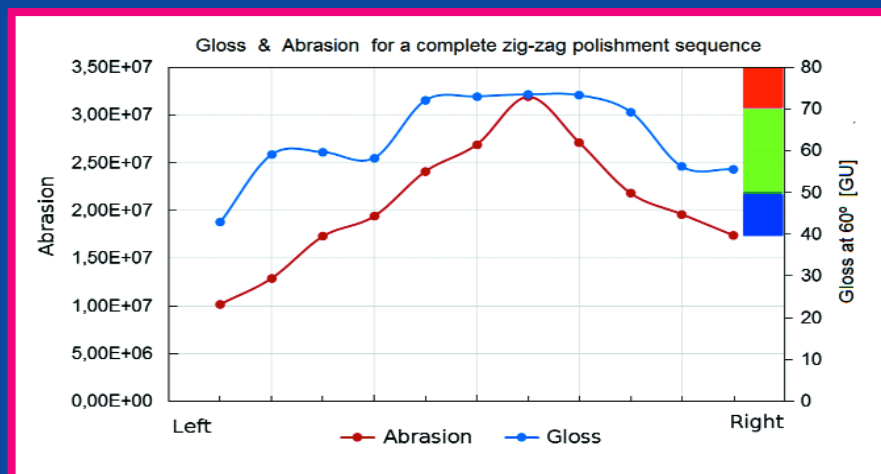


Fig.14 Gloss e abrasione misurati per una sequenza a zig-zag usando tre tipi di abrasivi (320TX, 400T e 5Extra)
Gloss and abrasion measured for a complete zig-zag polishment sequence, using the three types of abrasives (320TX, 400T and 5Extra)

etry of the 400T abrasive used in this experiment (see Fig.13). Measuring the effective abrasive length along the radial direction, every 10 mm, from outside to inside, the length increases in the beginning, then decreases until the central region, where it increases again until the end. Although this abrasive tangential length cannot be directly compared with the abrasion simulated from inside to outside

(because the perimeter is smaller in the inside than in the outside region, so equal tangential length abrasives are more effective in the inside region), it clearly shows the same trend observed before in experimental and simulated results.

So PAM simulations of polishing tools (as shown in Fig.7) seems to be effective in predicting the polishing behaviour of new tools. A comparison between abrasion and gloss for a complete polishment sequence, with the three types of abrasives (320TX, 400T and 5Extra) is shown in Fig.14. Clearly there is a good correlation between experimental gloss and simulated abrasion although, as mentioned before, gloss tends to an asymptote while abrasion just increases linearly.

This explains the flat regions observed in experimental measures of gloss while accumulated abrasion always seems to increase or decrease linearly.

The whole result for the polished surface, as simulated with abrasion and in agreement with gloss results, is shown in Fig.15. The colour code uses "blue" for gloss values from 40 up to 50 GU; "green" for values from 50 up to 70 GU; and "red" for values higher than 70 GU.





simulato con l'abrasione e in accordo con i risultati del gloss, è mostrato in Fig.15. Il codice a colori utilizza il "blu" per i valori del gloss da 40 fino a 50 GU; il "Verde" per i valori da 50 fino a 70 GU; e il "rosso" per valori superiori a 70 GU.

4. CONCLUSIONI

Questo studio è stato condotto con degli utensili abrasivi commerciali di tipo Frankfurt che sono stati utilizzati nelle ultime tre fasi del processo, in modo da raggiungere la massima lucentezza superficiale di un limestone portoghese (Moleanos). La prima parte del lavoro è stata dedicata alla valutazione dell'influenza del flusso d'acqua (Q) e della pressione (P) sulla distribuzione della brillantezza lungo l'area lucidata. Riguardo a questa parte, si può concludere che le migliori condizioni per la lucidatura del materiale lapideo in esame sono raggiunte con i valori di P e Q che sono vicini a $P = 2$ bar e $Q = 30$ litri/minuto. La seconda parte del lavoro è stata dedicata alla verifica sperimentale di un simulatore di lucidatura denominato PAM. Alcune prove di comparazione sistematica tra risul-

tati sperimentali e di simulazione sono state eseguite per ora solo con calcari e marmi (le prove con i marmi non sono state incluse in questo articolo), con utensili di tipo Frankfurt e macchine lucidatrici lineari.

I risultati mostrano che esiste effettivamente una correlazione tra i valori sperimentali di brillantezza e i dati di abrasione forniti dal simulatore.

Sebbene i risultati finora ottenuti siano positivi e si possano individuare degli effetti di correlazione, è chiaro che sono necessarie maggiori ricerche per affermare pienamente la validità delle simulazioni PAM, in particolare allargando i test ad altri tipi di pietra e considerando delle traiettorie più complesse di quelle previste dalla semplici lucidatrici lineari.

Anche se il PAM è stato progettato specificamente per l'industria della lavorazione della pietra ornamentale, la semplicità dei principi fondamentali che sono alla base del suo modello geometrico 2D dovrebbe renderlo ugualmente valido per una vasta gamma di processi di lucidatura, anche con materiali o tecniche di lucidatura diverse.

Questi studi portano, inoltre, ad una migliore comprensione dell'influenza dei parametri del processo di lucidatura, ossia il tempo di lucidatura e la zona di contatto tra utensile e superficie di lucidatura.

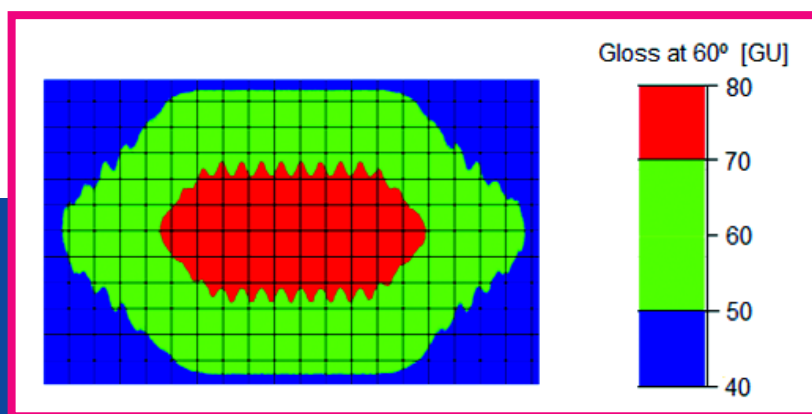


Fig.15 Previsione della distribuzione media del gloss, data dal PAM, per la superficie completa di una piastrella, considerando una sequenza completa a zig-zag effettuata con tre tipi di abrasivo (320TX, 400 T e 5Extra) come simulato per l'abrasione
Prediction of average gloss distribution, given by PAM, for the entire polished surface of a stone tile, considering a complete zig-zag polishing sequence with the three types of abrasives (320TX, 400T and 5Extra) as simulated with abrasion

4. CONCLUSIONS

This study was conducted with commercial Frankfurt-type abrasive tools applied for the last 3 stages of the process in order to attain a maximum surface gloss in a portuguese limestone (Moleanos). The first part of the work was dedicated to the assessment of the influence of the water flow (Q) and the pressure (P) on the distribution of gloss over the polished area. Concerning to this part, we may conclude that the best conditions for polishing the stone material under consideration are attained with values of P and Q which are close to $P = 2$ Bar and $Q = 30$ liter/minute.

The second part of the work was devoted to the experimental validation of the polishing simulator named PAM.

Systematic comparison tests between experimental and simulation results have been done so far only in limestones and marbles (tests on marbles were not included in this paper), with Frankfurt-like tools and linear polishing machines.

The results show that indeed a correlation exists between experimental values of gloss and the abrasion data given by the simulator.

Despite the fact that the results obtained so far are positive and several correlation effects could be established, it is clear that much more research work and effort is needed to fully assert the validity of the PAM simulations, namely testing different types of stone and more complex polishing trajectories

than those provided by simple linear polishing machines.

Although PAM has been specifically designed for the ornamental stone processing industry, the simplicity of the fundamental ideas behind its 2D geometric model should made it equally valid for a wide range of other polishing processes, involving different materials and

polishing techniques. These studies also lead to a better understanding of the influence of the polishing process parameters, namely the polishing time and contact area between tool and polishing surface.

5. REFERENCES

- [1] Sousa, L M O, Goncalves, B M M, 2013, Differences in the quality of polishing between sound and weathered granites, *Environmental Earth Sciences*, 69/4:1347-1359 (DOI: 10.1007/s12665-012-2035-y).
- [2] Yavuz, H, Ozkahraman, T, Demirdag, S, 2011, Polishing experiments on surface quality of building stones tiles, *Construction Building Materials*, 25/4:1707-1711 (DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.10.016).
- [3] Ferreira, T C P, Silveira, L L L, 2011, Análise da influência de variáveis operacionais na qualidade do polimento de rochas ornamentais. In: *Anais da XIX Jornada de Iniciação Científica, CETEM/MCT, Brazil*.
- [4] Carosio, S, Paspaliaris, I (editors), 2003, *Machines and Tools for Stone Quarrying and Processing*, Volume 1 of OSNET Editions, Laboratory of Metallurgy, National Technical University of Athens, Greece.
- [5] Amaral, P M, Rosa, L G, Pinto, S, Pozo, D, 2004, New line of diamond tools raise productivity in polishing stone, *Industrial Diamond Review*, Issue 3/04:33-37.
- [6] TQC B.V., 2013, *Glossmeter User Guide V1.01 092013*, The Netherlands.

This article is based on a paper presented at 3rd ICSCM, International Conference on Stone and Concrete Machining held in Bochum, Germany on November 2015 and is printed with kind permission of Scientific Committee and Authors.



Sommario



Immagine di Copertina / Cover Page
Zhongnan Diamond Co. Ltd

Primo Piano / In the Spotlight

- 10** CarraraMarmotec 2016, un evento nel segno del Made in Italy e di nuove sinergie a beneficio del settore marmo
CarraraMarmotec 2016, from 18 to 21 May a large showcase of the Made in Tuscany
- 12** "Inducimi in induzione" di Elettron Progetto Energia
Induction in sintering by Elettron Progetto Energia
- 18** Marmomacc, nuovo record per la 50a edizione: 67mila visitatori (+3%) da 150 nazioni / *Marmomacc – New record for the 50th edition: 67,000 visitors (+3%) from 150 countries*
- 22** 16th China Xiamen International Stone Fair

Utensili Diamantati / Diamond Tools

- 25** Indagine sperimentale sulle caratteristiche delle vibrazioni del filo diamantato nel taglio del granito / *An experimental investigation of vibration characteristics in the diamond wire sawing of granite*

Diamante Industriale / Industrial Diamond

- 33** Caratterizzazione di singoli cristalli di grane diamantate per applicazioni edili / *Characterization of single-crystal diamond grit for construction applications*

L'editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati, che saranno utilizzati esclusivamente per l'invio della pubblicazione, e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione.

Pubblicazione Trimestrale
83^a Edizione - Dicembre 2015

ISSN 1824-5765

In Copertina / Cover page :
ZHONGNANDIAMOND CO. LTD
P.O. BOX 101, Fangcheng
Henan - China
Tel.: +86 377 67319306
Fax: +86 377 67319212
www.zhongnan.net
zhongnan@zhongnan.net

Editore / Publisher
Editorial and Advertising Office
G&M Associated Sas
Via Caracciolo n° 26
20155 Milano - Italy
Tel. & Fax +39 02 314460
www.gmassdiamante.com
info@gmassdiamante.com

Direttore Responsabile
Editor in Chief
Renata Marchi

Progettazione, Grafica, Traduzioni
a cura di: G&M Associated Sas

Hanno collaborato:
P.M. Amaral
A.R. Barbosa
A. Bluemle
J.C. Fernandes
A. Fregoni
G. Grasberger
H. Huang
T. Klein
E. List
M. Muller
S. Nailer
L.G. Rosa
C. Tagliaferri
e gli Autori citati.

Stampa: CPZ SpA,
Costa di Mezzate (BG)

Autorizzazione del Tribunale di
Milano n° 454 del 18 novembre 1993

Registro Operatori di Comunicazione
n° 4373 del 21 novembre 2001
(ex Registro Nazionale della Stampa
n° 454 del 18 ottobre 1993).

Spedizione in abb. postale 45% -
art. 2 comma 20/b legge 662/96



Tutti i diritti di riproduzione e traduzione degli articoli pubblicati sono riservati. È vietata la riproduzione, anche parziale, degli articoli senza l'autorizzazione dell'Editore e delle dovute referenze. Manoscritti, disegni, fotografie e altro materiale inviato in redazione, anche se non pubblicato, non saranno restituiti. L'Editore non si assume alcuna responsabilità per le opinioni e per le idee espresse dagli autori né per i contenuti pubblicitari degli inserzionisti.

L'Editore G&M Associated Sas ai sensi dell'art. 13 del D. Lgs n° 196/2003 e dell'articolo 2 (comma 2) del Codice di deontologia professionale relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica, rende nota l'esistenza presso la sede di Milano, Via Caracciolo 26, di una banca-dati ad uso redazionale utilizzata esclusivamente per le finalità previste dalle leggi vigenti. Per esercitare in qualsiasi momento i diritti previsti dal suddetto D. Lgs, gli interessati potranno rivolgersi a G&M Associated Sas, titolare del trattamento dei dati, scrivendo a info@gmassdiamante.com.

All rights for any form of reproduction or translation of contents are reserved. The reproduction of an article, or part of it, without permission of the Publisher and due references is forbidden.

The Publisher assumes no responsibility for opinions expressed in editorial articles or advertisements. Any manuscripts, photographs or other material received will not be returned even if published.

In compliance with the provisions regarding the safeguard of personal data (D.lgs. [legislative decree] no. 196/2003, c.d. Code concerning protection of personal data), G&M Associated Sas wishes to inform you that personal data provided will be dealt with according to the principles of correctness, legality and transparency.

Pietra / Stone

- 45** Contributo per l'ottimizzazione della qualità di lucidatura delle lastre: studio sperimentale e simulazione con una macchina monotesta / *A contribution for an optimization of the polishing quality of stone slabs: simulation and experimental study using a single-head polishing machine*

Nuove Applicazioni / New Applications

- 57** Monitoraggio in tempo reale del processo di produzione di un filo diamantato sottile per il taglio del silicio / *Real-time monitoring of the thin diamond wire manufacturing process*

Decostruzione / Concrete Cutting

- 68** Pronti al decollo! Un centro di ricerca della NASA demolito con il taglio cemento / *Blast off! NASA test stand demolished by concrete cutting*
- 74** Cuts Diamant presenta la nuova linea di macchine tagliagiunti per asfalto e cemento / *Cuts Diamant is pleased to introduce its new range of joint cutters*
- 76** Hilti presenta l'unità di avanzamento automatico DD AF-CA con tecnologia CutAssist per i sistemi di carotaggio DD 350-CA e DD 500-CA con HI Drive / *Hilti introduces the DD AF-CA Autofeed unit with Cut Assist for the DD 350-CA and DD 500-CA coring systems featuring HI Drive*

Subscription Diamond Estimators

Italy - Europe	Euros 150,00
U.S.A. - Africa - Asia	Euros 180,00
Oceania	Euros 200,00



Inserzionisti / Advertisers

INS.1	ATAL
INS.1	BOVONE DIAMOND TOOLS
80	CONEXPO 2017 - Las Vegas
1	CO.FIPLAST
13	ELETTRON
INS.2	EPMA 2016 - Hamburg
2	FRATELLI MILANO
17	G.B. F.LLI BERTONCELLO
4	INTERMETAL

INS.2	LINBRAZE
43	MARBLE 2016 - Izmir
67	MARBLE AND MORE
9	MARMOTEC 2016 - Carrara
24	MEGA DIAMANT
32	METALPOLVERI
7	STEELCUT
55	TURKEY STONE ANTALYA
3	WIDECUT

1	WIRES ENGINEERING
23	XIAMEN STONE FAIR 2016 - Xiamen
44	Schede tecniche Vademecum
56	Schede tecniche Vademecum
I COP.	ZHONGNAN DIAMOND
II COP.	CUTS DIAMANT
III COP.	HILTI ITALIA
IV COP.	POLIGEM



SCIENTIFIC COMMITTEE



The Diamante A&T Scientific Committee is composed of professors, researchers, engineers and consultants covering the various areas of activities of the stone industry. They are all widely renowned experts with distinguished academic credentials. The different professional backgrounds, disciplines and areas of specialization provide for a balanced composition of the Committee allowing for fruitful synergies within the Committee.

PRESIDENT

Osvaldo Cai, Research and Development Consultant in Diamond Tools Production and Applications, Torino, Italy

MEMBERS

Ozgur Akkoyun, Associate Professor, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering, Mining Division, Dicle University, Diyarbakir, Turkey

Augusto Bortolussi, Senior Researcher, Department of the Institute of Environmental Geology and Geoengineering, National Research Council of Italy, Cagliari, Italy

Roberto Bruno, Professor of Research and Study Center on Mining Engineering, Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering, University of Bologna, Italy

Marilena Cardu, Associate Professor, Excavation Techniques, Environment, Land and Infrastructures Department, Politecnico di Torino, Italy

Nicola Careddu, Senior Researcher in Dimension Stone Quarrying and Processing, Civil, Environmental Engineering and Architecture Department, University of Cagliari, Italy

Luigi Carrino, Professor of Manufacturing Processes and Systems, Department of Chemical, Materials and Production Engineering, University of Naples "Federico II", Italy

Fabrice Dagrain, Associate Researcher in Dimension Stone Quarrying and Material Characterization, Department of Civil Engineering and Structural Mechanics, University of Mons, Belgium

N.B. Dhokey, Professor of Metallurgical Engineering, Department of Metallurgical Engineering, Govt. College of Engineering, Shivajinagar, Pune, India

Leonardo Luiz Lyrio Da Silveira, Geologist, Centro De Tecnologia Mineral, CETEM-MCT, Rio de Janeiro, Brasil

Iñigo Iturriza, Principal Researcher, Materials Department, CEIT, Donostia/San Sebastián, Spain

Janusz Konstanty, Professor of Materials Science at AGH, University of Science and Technology of Krakow, Poland

Michele Lanzetta, Associate Professor of Manufacturing Processes and Systems, Department of Civil and Industrial Engineering, University of Pisa, Italy

Seppo Leinonen, Geologist, Geological Survey of Finland, GTK, Kuopio, Finland

Alberto Molinari, Professor of Metallurgy, Department of Industrial Engineering, University of Trento, Italy

Fabrizio Memola Capece Minutolo, Associate Professor of Manufacturing Processes and Systems, Department of Chemical, Materials and Production Engineering, University of Naples "Federico II", Italy

Piero Primavori, Dimension Stone International Consultant, Teacher in the Master "Architecture and Construction: contemporary design with natural stone", Department of Architecture & Urban Studies, Politecnico di Milano, Italy

Mario Rosso, Professor of Metallurgy, Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Italy

Wolfgang Tillmann, Professor of Materials Engineering, Institute of Materials Engineering, TU-Dortmund University, Germany

Sandro Turchetta, Assistant Professor of Manufacturing Processes and Systems, Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassino and southern Lazio, Cassino, Italy